

Menetelmä ja laitteisto kiintoaineen erottamiseksi kaasuista

5 Esillä oleva keksintö koskee patenttivaatimuksen 1 johdannon mukaista menetelmää kiintoaineen erottamiseksi kaasuista.

Tällaisen menetelmän mukaan kiintoainetta sisältävä kaasu johdetaan erotusyksikköön, joka käsittää ainakin kahden moniaukkosityklonin muodostaman erotuslaitteiston, jossa kiintoaine erotetaan kaasufaasista keskipakovoiman avulla.

10 Keksentö koskee myös patenttivaatimuksen 13 johdannon mukaista sykloniyksikköä, joka käsittää ainakin kahden moniaukkosityklonin muodostaman sovitelman.

15 Keksinön mukaista menetelmää ja laitteistoa voidaan etenkin käyttää hiilivetyjen käsitteilyyn tarkoitettujen prosessien yhteydessä. Näitä ovat esim. katalyyttinen ja terminen krakkaus, dehydraus, Fischer-Tropsch-synteesi, maleiinihappo-anhydridin valmistus sekä metaanin hapettava dimerointi. Keksentö sopii kuitenkin käytettäväksi yleisesti kiintoaineen erottamiseen kaasuvirrasta. Niinpä toinen merkittävä alue on lämmön- ja voimantuotanto, jossa tekniikkaa voidaan soveltaa erityisesti kiinteää polttoainetta käyttävien kattiloiden yhteydessä.

20 Hiilivetyjen konvertointiprosesseissa käytetään tunnetusti kiintopetireaktoreita ja leijupeti-reaktoreita (leijukatalyyttisiä reaktoreita). "Leijukatalyyttisillä laitteistoilla" tarkoitetaan seuraavassa laitteistoja, joita käytetään prosesseissa, joissa hienojakoinen katalyyttijauhe on jakautuneena esim. ylöspäin kulkevassa kaasuvirrassa, jossa se aiheuttaa halutut reaktiot.

25 Eräs eniten käytetyistä leijukatalyyttisistä reaktorijärjestelmistä on FCC-laitteisto eli leijukatalyyttinen krakkauslaitteisto, jonka pääkomponentteja ovat nopean leijutusvirtauksen alueella toimiva nousuputki, suuritilavuuksinen, laimeassa suspensiofaasissa toimiva reaktori sekä leijukerrosalueella toimiva regeneraattori.

35 FCC-yksikössä nousuputkesta ja suuritilavuuksisesta reaktorista saatavan kiintoainesuspension kiintoainepartikkelit ja tuotekaasu erotetaan toisistaan sykloneissa, joiden toiminta perustuu keskipakovoiman hyväksikäyttöön. Sykloneita asennetaan usein sarjaan kaasuvirran suunnassa kokonaiserotusasteen parantamiseksi, koska normaalien yksittäisten syklonien erotusaste on huono alle 15 µm:n partikkeleilla.

09770999:0000004

Syklonit voivat olla rakenteeltaan kierukkamaisia tai spiraalimaisia, jolloin kiintoaine-suspensio tuodaan tangentiaalisena virtauksena syklonin lieriömäiseen osaan ja katalyytti erottuu kaasusta seinämän lähelle virtauksen kiertäessä tyypillisesti 7-9 kierrosta syklonin lieriömäisessä ja sen jatkeena olevassa kartiomaisessa osassa. Tunnetaan myös aksiaalisykloneita, joissa putkessa kulkeva kaasu saatetaan siivistöllä kiertoliikkeeseen, jolloin kiintoaine keskipakovoiman vaikutuksesta ajautuu putken seinämälle eroon kaasuvirrasta.

Aksiaalivirtaussykloneita on kuvattu patenttijulkaisuissa GB 1 592 051 ja GB 1 526 509. Julkaisujen mukaan aksiaalivirtaussyklonissa on putkimainen syklonikammio, jonka ensimmäisessä päässä on käsiteltävän virtauksen sisäänvaloaukko ja toisessa päässä puhdistetun kaasun poistoaukko. Kyseisiä sykloneja ehdotetaan käytettäväksi poltto-, diesel- ja suihkumootoreissa, turbiineissa ja sen tapaisissa laitteissa, jotka tarvitsevat puhdasta syötöilmaa.

Kiristyvät ilmansuojeluvaatimukset ja energian käyttöä tehostava FCC:n regenerointikaasun paineenalennus turbiineilla asettavat vielä entistä tiukemmat rajoitukset FCC:n pölypitoisuudelle. Syklonin halkaisijaa pienentämällä on erotustehokkuutta mahdollista parantaa, mutta syklonien määrää on vastaavasti lisättävä.

Voimantuotannossa ongelmana on, että sähkösuodattimille tulee usein huomattava määrä palamattomia komponentteja, jotka kuormittavat ja likaavat sähkösuodatinta. Tehokkaampaa syklonierotusta käyttämällä nämä komponentit saataisiin takaisin palamisprosessiin ja näin nostettua kattilan hyötysuhdetta. Tietyissä tapauksissa sähkösuodatin voitaisiin korvata kokonaan.

Perinteisten FCC-yksiköiden ongelmia ovat puutteellisen erotuskyvyn lisäksi mm. katalyytin/kiintoaineen ja rakenteiden eroosio. Ongelmat kohdistuvat useimmiten laitteistoon olennaisena osana kuuluiin kaasujen ja kiintoaineen/katalyytin erotussykloneihin. Kuluminen estämiseksi perinteiset syklonirakenteet joudutaan vuoraamaan keraamisella massalla. Eroosiosta aiheutuvat ongelmat korostuvat, kun syklonin halkaisijaa pienennetään.

Esillä olevan keksinnön tarkoituksena on poistaa tunnettuun tekniikkaan liittyvät epäkohdat ja saada aikaan uusi ratkaisu kiintoaineiden erottamiseksi kaasuista.

Keksintö perustuu siihen ajatukseen, että sykloniyksikkö toteutetaan useasta rinnakkain järjestetystä moniaukkosityklonista. Yllättäen on todettu, että tällaisella ratkaisulla voidaan sykloniyksikön erotustehokkuutta kasvattaa ilman, että laitteiston eroosio merkittävästi lisääntyy.

Esillä olevan keksinnön mukainen sykloniyksikkö käsittää siten ainakin kaksi rinnakkain järjestettyä moniaukkosyklonia. Jokaisessa syklonissa on syöttöputki käsiteltävälle, kiinto-
 ainepitoiselle kaasuvirralle ja syöttöputkeen yhdistetty erotuskammio, jolla on oleellisesti
 pystysuora keskiakseli ja jossa on ainakin kaksi johtosiipeä, jotka saattavat kaasuvirran
 oleellisesti tangentiaaliseen virtaukseen erotuskammiossa kiintoaineksen erottamiseksi
 kaasusta. Syklonin erotuskammion alapäähän yhdistetty laskujalka erotetulle kiintoaineelle
 sekä erotuskammion keskiakselin suuntainen keskusputki kiintoaineesta puhdistetulle kaa-
 sulle. Syklonit on järjestetty rinnakkain yhdistämällä moniaukkosyklonien syöttöputket
 toisiinsa ja syklonien laskujalat yhteiseen poistoputkeen.

Keksinnön mukaista syklonisovitelmaa voidaan käyttää esim. FCC-yksikön primääri-
 erottimena, mutta edullisemmin sitä käytetään FCC-yksikön sekundääri- tai tertiääri-
 erottimena, jolla erotetaan aikaisempien erotusvaiheiden poistokaasujen kaikkein hie-
 noimmat partikkelit.

Täsmällisemmin sanottuna keksinnön mukaiselle menetelmälle on pääasiallisesti tunnus-
 omaista se, mikä on esitetty patenttivaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa

Keksinnön mukaiselle erotussovittelmaalle on puolestaan tunnusomaista se, mikä on esitetty
 patenttivaatimuksen 13 tunnusmerkkiosassa.

Esillä olevan keksinnön avulla saavutetaan huomattavia etuja. Niinpä leikkausjännitykset,
 jotka aiheuttavat eroosiota, muodostuvat keksinnön mukaisessa moniaukko-multi-
 syklonissa pienemmiksi kuin konventionaalisessa, esim. aksiaalisykloneihin perustuvassa
 multisyklonissa. Moniaukkosykloneilla toteutettu multisykloni on kuitenkin samalla aksi-
 aalisykloneilla toteutettua multisyklonia tehokkaampi ja kustannuksiltaan samaa luokkaa.
 Aksiaalisyklonissa kiintoainepitoista virtausta ei voida kiihdyttää virtaussolassa, mikä olisi
 toivottavaa erotustehokkuuden kasvattamiseksi. Moniaukko-syklonissa on sen sijaan tyy-
 pillisesti siivet, joilla virtaus jaetaan osavirroiksi, joista jokaisen virtausnopeutta voidaan
 tehokkaasti kiihdyttää. Suorat siivet ovat vähemmän alttiita kulumiselle kuin kaarevat sii-
 vet, koska niillä ei pyritä poikkeuttamaan virtauksen suuntaa, vaan pelkästään kiihdyttä-
 mään kaasun virtausnopeutta. Pienemmän kiintoainepitoisuuden ansiosta laitteiston seinä-
 män kulumisen vielä entisestään pienenee. Samalla kiintoaineen eroosio pienenee, mikä
 vähentää hienoaineen muodostumista erotuksessa.

Moniaukko-multisykloni toimii erityisen tehokkaasti 2- tai 3-vaiheen erottimena, koska
 virtaus tuodaan lähelle erotuskammion seinämään yllä mainituilla siivillä. Keksinnön mu-
 kaisella laitteistolla saadaankin erittäin pienet partikkelit, etenkin yllä mainitut alle 15

um:n partikkelit, erotetuksi poistokaasuista nykyistä tehokkaammin, jolloin FCC-laitteisto voidaan kustannuksiltaan varsin edullisella ratkaisulla saattaa vastaamaan kiristuvia FCC:n pölypitoisuuden vaatimuksia. Kilpaileva tekniikka on voimantuotannossa yleisesti käytetty sähkösuodatin, joka on investoinniltaan, tilantarpeeltaan ja käyttökustannuksiltaan huomattavasti kalliimpi ratkaisu.

Voimantuotannossa kiinteää polttoainetta käyttävien kattiloiden yhteydessä moniaukko-multisyklonia voidaan käyttää varsinkin ennen sähkösuodatinta poistamaan palamattomat komponentit nykyistä tehokkaammin ja tietyissä tapauksissa korvaamaan sähkösuodatin kokonaan.

Keksinnön mukaisella moniaukko-multisyklonilla nykyisillä FCC-katalyytillä on mahdollista päästä alle 50 mg/Nm^3 poistokaasun pölypitoisuuteen, mikäli laite toimii sekundääri- tai tertiäärierottimena.

Keksintöä ryhdytään seuraavassa lähemmin tarkastelemaan yksityiskohtaisen selityksen avulla oheisiin piirustuksiin viitaten.

Kuviossa 1 on periaatepiirroksena esitetty tavanomainen ja kuviossa 2 keksinnön mukainen sykloniratkaisu, joissa on kaksi sykloonia (primääri- ja sekundäärisykloni) sarjassa kytkettynä FCC-reaktorin regeneraattoriin, ja kuviossa 3 on sivukuvantona esitetty FCC:n 3-vaiheen regeneraattorisykloniksi tarkoitetun keksinnön mukaisen moniaukko-multisyklonin periaatteellinen rakenne.

Moniaukkositykloni on ennestään tunnettu ja se on kuvattu mm. US-patenttijulkaisussa 3.969.096. Yleisesti moniaukkosityklonilla tarkoitetaan sykloonia, jonka erotuskammiossa on ainakin kaksi syöttöaukkoa ja jossa kiintoaineen erotus kaasusta tapahtuu ainakin osittain keskipakovoiman vaikutuksesta saattamalla kaasuvirtaus tangentiaaliseen liikkeeseen erotuskammion seinämää pitkin. Useamman moniaukkosityklonin muodostamat kaskadit ovat myös tunnettuja. Tältä osin viittaamme PCT-hakemusjulkaisussamme WO 99/25469 esitettyyn ratkaisuun. Järjestämällä useampia moniaukkositykloneja peräkkäin kokonaiserotusastetta voidaan merkittävästi parantaa. Lisäksi saavutetaan huomattava tilansäästö, kun erotuslaite-kaskadi rakennetaan moniaukkositykloneista, koska syklonit voidaan sijoittaa sisäkkäin. Huomautettakoon kuitenkin, ettei hakemusjulkaisussa WO 99/25469 ole mitään mainintaa siitä, että moniaukkosityklonit voitaisiin sovittaa rinnakkain, eikä siinä liioin ole keskusteltu mahdollisuuksista parantaa sykloniyhdistelmän erotuskykyä eroosiota lisäämättä.

Multisyklonit, joissa on rinnakkain järjestettyjä aksiaalisykloneja, tunnetaan US-patenttijulkaisusta 4 863 500, SE-patenttijulkaisusta 346 706 sekä DE-patenttijulkaisuista 849 507, 914 701 ja 1 146 338. Yhdessäkään näistä ei ole kuitenkaan esitetty sellaista ratkaisua, jossa multisyklonin rinnakkaiset syklonit olisivat moniaukkosykloneja, joissa erotus tapahtuu tämän keksinnön mukaisesti saattamalla kaasuvirtaus erotuskammiossa olennaisesti tangentialisen virtaukseen erotuskammion seinämää pitkin. Esimerkiksi DE-patenttijulkaisussa 914 701 on esitetty syklonilaite, jonka sykloneissa on erotuskammion sisäiset ohjaussiivet. Nämä siivet aiheuttavat turbulenssia ja virtaushäiriöitä erotuskammion sisällä ja estävät seinämän suuntaisen, tangentialisen virtauksen.

Keksinnössä käytettävässä erotuslaitteessa eli moniaukko-multisyklonissa on kaksi, sopivimmin ainakin kolme, edullisesti 3 – 300, erityisen edullisesti 3 - 25 rinnakkain järjestettyä moniaukkosyklonia. Rinnakkain järjestämisellä tarkoitetaan tässä keksinnössä, että jokaisella syklonilla on yhteinen syöttökanava sekä yhteinen poistokanava. Laitteiston keskeinen osa on sen erotuskammio, jolla on ainakin oleellisesti pystysuora keskiakseli ja jonka sisäpinnan poikkileikkaus on oleellisesti ympyräkehän muotoinen eli erotuskammio on rotaatiosymmetrinen keskiakselinsa suhteen. Moniaukko-multisyklonissa kaikkien syklonien erotuskammioiden keskiakselit ovat yhdensuuntaiset tai ainakin oleellisesti yhdensuuntaiset.

Erotuskammioon on yhdistetty käsiteltävien kaasujen syöttöyhde. Syöttöyhde on sovitettu pääasiassa kohtisuoraksi erotuskammion keskiakselia vastaan ja siinä on keskiakselin suunnassa suorat johtosiivet (eli johtosiivet, jotka ovat yhdensuuntaiset keskiakselin kanssa). Johtosiivistön avulla käsiteltävä kaasu voidaan saattaa erotuskammion sisäpintaa pitkin tapahtuvaan kaasuvirtaukseen kiintoaineen erottamiseksi kaasusta keskipakovoiman vaikutuksesta. Kuten yllä todettiin, moniaukkosykloneissa on suora siivet, joilla virtaus on jaettavissa osavirroiksi, joista jokaisen virtausnopeutta voidaan erikseen kiihdyttää. Jakaminen osavirroiksi tapahtuu siten, että johtosiipien välille muodostuu sola, joka kiihdyttää virtausta ja ohjaa sen kapeana suihkuna erotuskammion seinämälle, mikä puolestaan tehostaa kiintoaineen erotusta. Sola on kapea, mikä tarkoittaa käytännössä että sen leveys on korkeintaan 10 % erotuskammion halkaisijasta. Tavallisesti leveys on 1 – 8 % kyseisestä halkaisijasta. Solan pituus on puolestaan noin 0,5 – 20 kertaa solan leveys. Johtosiippiä on ainakin 2, edullisesti 3 – 60 ja sopivimmin 8 – 32. Syklonin johtosiivet on sovitettu renkaasmaisesti syklonin kammion kehälle, osittain tai sopivimmin kokonaan virtauskanavaan johtosiivistöksi siten, että tämä muodostaa useita rinnakkaisia kaasun sisäänvirtauskanavia (eli -solia). Erotustehokkuus on parhaimmillaan, kun siivet ovat kokonaan syklonikammion ulkopuolella, koska syklonikammion sisäpuolelle ulottuvat johtosiivet aiheuttavat turbulenssia ja virtaushäiriöitä syklonikammiossa.

Erotuskammioon on edelleen järjestetty keskusputki kaasujen poistamiseksi sekä lasku-
 ka kaasusta erotetun kiintoaineen talteen ottamiseksi.

5 Moniaukko-multisyklonien yhteinen syöttöyhde voi koostua kahden sisäkkäisen lieriömäi-
 sen tai osin kartiomaisen verhopinnan välille muodostetusta tilasta, joka voi olla jaettu ak-
 siaalisuunnassa väliseinämällä rinnakkaisiksi segmenteiksi. Rinnakkaiset segmentit voivat
 olla aikaansaatuja järjestämällä kahden sisäkkäisen lieriömäisen verho-pinnan välille reak-
 10 tiotilan pituusakselin suuntaiset välilevyt. Lähes samaan tulokseen päädytään, kun syöt-
 töyhde muodostuu ympyrän kehälle järjestetyistä rinnakkaisista syöttöputkista. On myös
 mahdollista syöttää kaasuvirtaus vain toispuolisesti, esimerkiksi multisyklonin painesei-
 nämän kautta viedystä syöttöputkesta.

15 Aksiaalivirtaussykloneista keksinnön kohteena olevat syklonit poikkeavat mm. siten, että
 syklonista poistettava puhdistettu kaasuvirtaus johdetaan syklonista ulos edullisesti syk-
 lonikammion yläosaan sovitettua yhdettä pitkin.

20 Keksinnön mukaisessa menetelmässä moniaukko-multisyklonit voidaan muodostaa osaksi
 monivaiheista erotuslaitteistoa. Niinpä keksinnön ensimmäisen sovellutusmuodon mukaan
 erotuslaitteisto käsittää primäärierottimen, joka on tavanomainen sykloni tai, edullisesti,
 moniaukkositykloni, ja sekundäärierottimen, joka on yllä kuvattu moniaukko-multisykloni.

25 Keksinnön toisen sovellutusmuodon mukaan erotuslaitteisto käsittää konventionaaliset
 primääri- ja sekundäärierottimet ja moniaukko-multisykloni on sovitettu laitteiston tertiää-
 risykloniksi. Vaihtoehtoisesti ainakin toinen primääri- ja sekundäärierottimista on moni-
 aukkosykloni. Yhden tavanomaisen syklonin tilalla voidaan myös käyttää sarjaan tai rin-
 nakkain järjestettyjä sykloneja. Samoin konventionaalinen moniaukko-sykloni voidaan
 keksinnön mukaan korvata sarjaan järjestetyillä moniaukkositykloneilla. Viittaamme tässä
 yhteydessä yllä mainitussa hakemusjulkaisussa WO 99/25469 esitettyyn ratkaisuun. Kek-
 30 sinnön mukaisia moniaukko-multisykloneja voidaan tietenkin käyttää useammassakin ero-
 tusvaiheessa, esim. sekä sekundääri- että tertiäärisykloneina.

35 Yllä kuvattua laiteratkaisua ja prosessia voidaan soveltaa katalyytin erottamiseksi leijuka-
 talyyttisen krakkauksen (FCC) nuotekaasuista. Moniaukko-multisyklonia voidaan erityisen
 edullisesti käyttää FCC-yksikön regeneraattorissa regeneroidun katalyytin erottamiseksi
 koksien poltтокаasuista.

Muita leijukatalyyttisiä sovellutuksia ovat mm.: katalyyttinen reformointi, ftaalihapon an-

hydridin, maleiinihapon anhydridin, metaanin hapettava dimerointi, Fischer-Tropsch synteesi, metaanin, etaanin jne. klooraus ja bromaus metanolin konvertointi olefiineiksi tai bensiniiksi.

5 Keksinnön mukainen/mukaiset moniaukko-multisykloni(t) yhdistetään joko suoraan leijukatalyyttisen reaktorin nousuputkeen (riseriin), mikä edustaa keksinnön edullista sovellusta, tai sen/niiden tuloyhde saatetaan yhteyteen leijukatalyyttisen reaktorin kaasutilaan, kuten perinteisissä ratkaisuissa.

10 Kuvioissa 1 ja 2 on kuvattu tavanomainen ja vastaavasti keksinnön mukaiset sykloniratkaisut, joista tunnetun tekniikan mukaan on kaksi sykloonia (primääri- ja sekundäärisykloni) sarjassa FCC-regeneraattorissa. Sykloneja voi olla sarjassa enemmän tai vähemmän kuin kaksi kappaletta. Tavanomaisen syklonin maksimihalkaisija on noin 1 m, joten sykloneita voi edelleen käsiteltävästä kaasumäärän mukaan olla enemmän kuin yksi rinnan.

15 Tavanomaisessa sykloniratkaisussa arinan 1 läpi tuleva ilma leijuttaa regeneraattorissa 2 olevaa katalyyttiä kuplivapetitilassa ja tuo happea koksien polttoon tarvittavaan reaktioon. Kaasu ja sen mukaan joutuvat katalyyttipartikkelit kulkevat regeneraattorin 2 sisällä olevaan primäärisykloniin 3. Hiukkaset erottuvat kaasusta kammion seinämälle ja putoavat primäärisyklonin jalkaan. Jalasta katalyytti kulkee takaisin leijupetiin. Primäärisykloniin tullut kaasuvirta poistuu syklonista keskusputken kautta, sekundäärisykloniin 4. Kaasu ja hiukkaset erottuvat kammion seinämälle, josta putoavat sekundäärisyklonin jalkaan. Sekundäärisyklonista kaasuvirta kulkee keräyskammioon ja poistuu reaktorista poistoputken 5 kautta.

25 Kuvion 2 regeneraattori 6 käsittää primäärisyklonin 8 ja sekundäärisyklonin 13 sekä arinan 7 ilman johtamiseksi regeneraattoriin 6 ja poistoputken 18 kaasuvirran johtamiseksi ulos sekundäärisyklonista ja samalla koko regeneraattorista. Primäärisykloni käsittää regeneraattorin 6 sisällä yläosassa olevan keskusputken 14 ja johtosiivistön 10 rajoittaman tilan 9 ja tämän tilan alapuolella olevan kammion 11, jossa johtosiivistön 10 läpivirtaava, tilan 9 kautta tullut seos saadaan alaspäin pyörivään virtausliikkeeseen pitkin kammion 11 seinämää, ja kammion 11 alareunaan liittyvän jalan 12.

35 Moniaukko-multisyklonin käsittävä sekundäärisykloni 13 on sijoitettu primäärisyklonin sisäpuolelle ja se käsittää yhtenäisen keskusputken 14, joka muodostaa yläosaansa kaasujen poistokanavan 18. Keskusputken 14 ja primäärisyklonin laskujalan 12 sisäseinämän välisestä kanavasta, joka on yhteydessä saman keskusputken 14 sisäseinämän ja laskujalan 21 ulkoseinämän väliseen kanavaan, primäärisyklonista saatava kaasuvirta johdetaan pri-

T03020:2202400

määrisyklonista sekundäärisykloneihin 16A, 16B, 16C. Kyseiseen kanavaan 15 liittyvien johtosiivistöjen 17A, 17B, 17C kautta kaasuvirta on johdettavissa erotuskammioihin 19A, 19B ja 19C. Johtosiivistöt 17A - 17C saattavat sekundäärisykloneihin johdettavat kaasuvirrat kammioiden 19A - 19C seinämiä pitkin pyörivään liikkeeseen. Sekundäärisyklonin multisyklonit käsittävät myös kammioista 19A - 19C alaspäin ulottuvat laskujalat 20A - 20C, jotka avautuvat yhteiseen laskujalkaan 21, joka on sijoitettu primäärisyklonin laskujalan 12 sisälle. Kuvion 2 sovellusmuodossa kanava 15 on poikkileikkaukseltaan rengasmai-

nen. Kyseinen rengasmainen muoto soveltuu hyvin seoksen ja kaasuvirran johtamiseen, mutta myös muun muotoisia johdeosia voidaan hyvin käyttää.

Keksinnön mukaan arinan 7 läpi tuleva ilma leijuttaa regeneraattorissa 6 olevaa katalyyttiä kuplivapetitilassa ja tuo happea koksien polttoon tarvittavaan reaktioon. Kaasu ja sen mukana joutuvat katalyyttipartikkelit nousevat regeneraattorin yläosaan ja menevät johtosiivistön 10 läpi tilaan 9. Johtosiivistöllä 10 aiheutetaan virtaus, jossa hiukkaset erottuvat kaasusta keskipakovoiman ansiosta kammion seinämälle 11 ja putoavat primäärisyklonin jalkaan 12. Jalasta katalyytti kulkee takaisin leijupetiin. Primäärisykloniin tullut kaasuvirta poistuu syklonista keskusputken 14 kautta, josta se edelleen nousee edullisesti rengasmaista kanavaa 15 pitkin sekundäärisyklonien johtosiivistöön 17A - 17C. Hiukkaset erottuvat kaasusta kammioiden seinämälle 19A - 19C, josta ne putoavat sekundäärisyklonien laskujalkoihin 20A - 20C. Sekundäärisyklonien laskujalkojen 20A - 20C kautta hiukkaset valuvat yhteiseen laskujalkaan 21, joka kuten yllä todettiin on sovitettu primäärisyklonin jalkan 12 sisällä. Sekundäärisykloniin tullut kaasuvirta poistuu syklonista ja reaktorista poistoputken 18 kautta.

Kuvion 2 mukaisessa ratkaisussa tulovirtauksen pyörrettä käytetään tasaamaan virtausta multisyklonille. Kun primäärierottimena on moniaukkosykloni, pyörre saadaan säilymään ja virtaus ohjattua tasaisesti syklonien kesken.

Kuviossa 3 on esitetty 3-vaiheen FCC-regeneraattorisykloni. Kuvion 2 mukainen ratkaisu sopii etenkin tertiäärisykloniksi. Multisykloni asennetaan tällöin FCC:n paineastian ulkopuolelle.

Kuvion 3 moniaukko-multisykloni vastaa periaatteelliselta rakenteeltaan kuvion 2 sekundäärisyklonia. Rinnakkain sovitettujen moniaukkosyklonien 31A, 31B, 31C, 31D ja 31E on järjestetty yhteisen syklonivaipan 32 sisään. Erotuslaitteen yläosassa on kaasuvirran poistoputki 33 ja sen alaosassa on poistoputki 34 erotetuille partikkeleille. Säiliön keskiakseli on sopivimmin pystysuora. Säiliön ylä- ja keskiosaan on muodostettu kaksi välipohjaa 35 ja 36, jotka jakavat säiliön kolmeen kaasutilaan. Ylempään välipohjaan 35 on kiinnitetty

rinnakkaisten moniaukkosyklonien keskusputket 37A – 37E, jotka avautuvat syklonin ylätilaan 39. Keskusputket ulottuvat ylemmän välipohjan 35 läpi ja niiden päät sijaitsevat hieman välilevyn ylätasoa korkeammalla. Alempaan välipohjaan 36 on vastaavalla tavalla kiinnitetty moniaukkosyklonien laskujalat 38A – 38E, jotka avautuvat syklonin alatilaan 40. Edellä mainittu kaasun poistoputki 33 on suoraan yhteydessä syklonin ylätilaan 38 ja kiintoaineen poistoputki 34 vastaavasti syklonin alatilaan.

Välipohjat rajaavat välilleen välitilan 43, johon on yhdistetty syklonivaipan läpi ulottuva syöttöputki 41 puhdistettavan kaasun syöttämiseksi välitilaan. Välitila on yhteydessä moniaukkosyklonien johtosiivistöjen 42A – 42E kanssa.

Syöttöputken 41 kautta syötettävä kiintoainepitoinen kaasuvirta virtaa välitilassa ja kiintoaine kulkeutuu kaasuvirran mukana moniaukkosyklonien johtosiivistölle 42A – 42E. Siivistöllä aiheutetaan virtaus, jossa hiukkaset erottuvat kaasusta keskipakovoiman ansiosta putken 31A – 31E seinämälle, jolloin ne valuvat syklonin laskujalkaan 38A – 38E. Jalasta katalyytti valuu säiliön alatilaan 40, josta ne voidaan tyhjentää poistoputken 34 kautta. Puhdistetty kaasu poistuu keskusputken 37A – 37E kautta ylätilaan 39 ja sitä kautta kaasujen poistoputkeen 33.

Modulirakenteisena kuvion 3 moniaukko-multisykloni soveltuu jälkiasennettavaksi nykyisiin FCC-laitoksiin, kun pölypäästöjä halutaan selvästi vähentää. Se voidaan yhdistää yhtälailla perinteisiin syklonikaskadeihin kuin moniaukkosykloneilla toteutettuihin erotusjärjestelmiin.